



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

В.Г. Волик, В.Б. Гуменников, Н.С. Шорохов

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ

(Самарский государственный университет путей сообщения)

Для функционирования систем управления движением поездов необходима оперативная информация о величине первичных и вторичных параметров рельсовой линии, которая может быть получена на основе измерения и математической обработки комплексной амплитуды сигнального тока в двух сечениях двухпроводной электрической линии (рисунок 1), пространственно разнесенных на расстояние l . Информация о полном удельном сопротивлении продольной цепи позволяет оценить состояние рельсов и соединительных стыков, а измерение проводимости изоляции позволяет своевременно осуществлять регулировку путевых приемников, управляющих работой светофоров, и принимать решение о проведении других ремонтно-восстановительных работ [1,2].

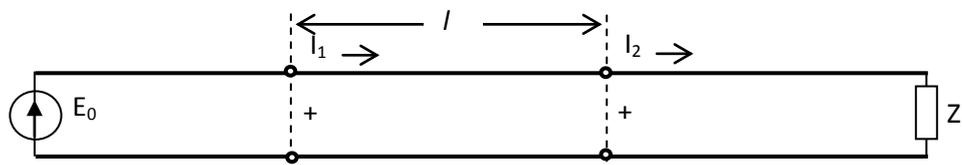


Рис. 1. Расположение сечений измерения комплексных амплитуд напряжения и тока

Задающий генератор гармонического напряжения или тока должен находиться за пределами участка, ограниченного указанными сечениями.

Вторичные параметры рельсовой линии - волновое сопротивление Z_v и коэффициент распространения γ являются комплексными величинами. Они связаны с первичными параметрами Z_0 и Y_0 следующими соотношениями:

$$Z_v = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} \quad (1)$$

$$\gamma = \sqrt{Z_0 Y_0} \quad (2)$$

где $Z_0 = R_0 + j\omega L_0$ - полное удельное сопротивление рельсовой петли;

$Y_0 = G_0 + j\omega C_0$ - полная удельная проводимость изоляции;

$\omega = 2\pi \cdot f$; ω, f - угловая и циклическая частота переменного тока.

Комплексные токи и напряжения в двух сечениях рельсовой линии U_1, I_1, U_2, I_2 связаны между собой векторно-матричным уравнением передачи [3]:



$$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} U_2 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Матрица A – параметров эквивалентного четырехполюсника рельсовой линии однородного участка пути длиной l имеет вид:

$$A := \begin{bmatrix} ch(\gamma \cdot l) & Z_v \cdot sh(\gamma \cdot l) \\ (Z_v)^{-1} \cdot sh(\gamma \cdot l) & ch(\gamma \cdot l) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Используя соотношения (3) – (4) и тождество $ch^2(\gamma \cdot l) - sh^2(\gamma \cdot l) = 1$, составим систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} U_2 x_2 + I_2 x_1 x_3 &= U_1 \\ \frac{U_2 x_3}{x_1} + I_2 x_2 &= I_1 \\ x_2 x_2 - x_3 x_3 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

относительно переменных $x_1 = Z_v$, $x_2 = ch(\gamma \cdot l)$, $x_3 = sh(\gamma \cdot l)$, причем комплексные величины U_1, I_1, U_2, I_2 в этих уравнениях выступают в качестве коэффициентов. Система уравнений (5) имеет аналитическое решение, и выражения для корней имеют вид:

$$Z_v = \sqrt{\frac{U_1^2 - U_2^2}{I_1^2 - I_2^2}} \quad (6)$$

$$ch(\gamma \cdot l) = \frac{U_1 I_1 + U_2 I_2}{U_1 I_2 + U_2 I_1} \quad (7)$$

$$sh(\gamma \cdot l) = \frac{\sqrt{(U_1^2 - U_2^2)(I_1^2 - I_2^2)}}{U_1 I_2 + U_2 I_1} \quad (8)$$

Формула (6) позволяет найти волновое сопротивление Z_v рельсовой линии между измерительными сечениями, причем независимо от длины участка l . Коэффициент распространения γ можно определить из соотношений (7) или (8).

Для расчета полного сопротивления рельсовой петли и проводимости изоляции из соотношений (1), (2), (6) и (8) получим следующие формулы:

$$Z_0 = \frac{1}{l} \cdot \operatorname{arcsch} \frac{\sqrt{(U_1^2 - U_2^2)(I_1^2 - I_2^2)}}{U_1 I_2 + U_2 I_1} \cdot \sqrt{\frac{U_1^2 - U_2^2}{I_1^2 - I_2^2}} \quad (9)$$

$$Y_0 = \frac{1}{l} \cdot \operatorname{arcsch} \frac{\sqrt{(U_1^2 - U_2^2)(I_1^2 - I_2^2)}}{U_1 I_2 + U_2 I_1} \cdot \sqrt{\frac{I_1^2 - I_2^2}{U_1^2 - U_2^2}} \quad (10)$$

В рельсовых цепях с частотой сигнального тока 50 Гц величина фазового сдвига $|\beta \cdot l|$ не превосходит 180° , поэтому при вычислении обратных гиперболических функций можно ограничиться главным значением. Если выполняется условие $|\gamma \cdot l| < 0.3$, формулы (9) – (10) могут быть упрощены путем разложения и использования только первого члена разложения арка-синуса в степенной ряд [4]:



$$Z_0 = \frac{1}{l} \cdot \frac{U_1^2 - U_2^2}{U_1 I_2 + U_2 I_1} \quad (11)$$

$$Y_0 = \frac{1}{l} \cdot \frac{I_1^2 - I_2^2}{U_1 I_2 + U_2 I_1} \quad (12)$$

Методическая относительная погрешность формул (11)-(12) при выполнении указанного условия не превосходит 0,5%. Вычисление арка-синуса $arsh(z)$ в интервале $0 \leq |z| \leq 1$ с абсолютной погрешностью не более 0,002 может быть осуществлено путем разложения в степенной ряд вида:

$$arsh(z) \cong R(z) = z \cdot \left(1 + \frac{z^2}{2} \cdot \left(\frac{z^2}{10} - \frac{1}{3} \right) \right) \quad (13)$$

Для вычисления этой функции в интервале $0,3 \leq |z| \leq 3$ с абсолютной погрешностью не более 0,005 целесообразно воспользоваться ее разложением в ряд Тейлора с базовым значением аргумента $z = 1$:

$$arsh(z) \cong T(z) = \ln(1 + \sqrt{2}) + \frac{z-1}{\sqrt{2}} \cdot \left(1 - \frac{z-1}{4} \cdot \left(1 - \frac{z-1}{6} \right) \right) \quad (14)$$

На рисунке 2 показаны графики абсолютной погрешности аппроксимации арка-синуса с помощью соотношений (13) и (14).

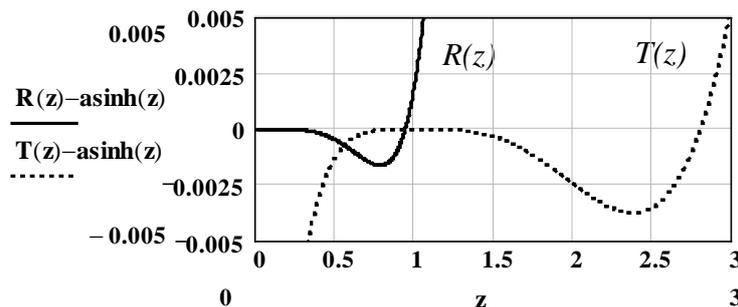


Рис. 2. Абсолютная погрешность аппроксимации функции $arsh(z)$

Удельные первичные параметры продольной R_0 , L_0 и поперечной G_0 , C_0 цепей рельсовой линии находятся путем выделения вещественных и мнимых частей из найденных значений Z_0 и Y_0 :

$$R_0 = \text{Re}(Z_0), \quad L_0 = \text{Im}(Z_0)/\omega, \quad G_0 = \text{Re}(Y_0), \quad C_0 = \text{Im}(Y_0)/\omega.$$

Если величина Z_0 для выбранной частоты f является известной константой, то для расчета проводимости изоляции удобно воспользоваться формулой (15), которая следует из соотношений (1) и (6).

$$Y_0 = Z_0 \cdot \frac{I_1^2 - I_2^2}{U_1^2 - U_2^2} \quad (15)$$

Полиномиальная аппроксимация экспериментальных данных зависимости полного удельного сопротивления рельсовой петли $Z_0(f) = |Z_0(f)| \cdot \exp(j \cdot \Psi(f))$ от частоты в диапазоне от 12,5 до 525 Гц для рельсов типа Р65 дала следующие соотношения:

$$|Z_0(f)| = 0.1111 + 0.0099 \cdot f - 4.5238 \cdot 10^{-6} \cdot f^2 + 4.0776 \cdot 10^{-9} \cdot f^3 \quad (\text{Ом/км})$$

$$\Psi(f) = 51.33 + 0.2298 \cdot f - 6.6869 \cdot 10^{-4} \cdot f^2 + 6.3883 \cdot 10^{-7} \cdot f^3 \quad (\text{град./км}).$$



При большом значении ослабления сигнала в линии или при согласованной нагрузке формулу (15) можно упростить, и она примет вид (16):

$$Y_0 = Z_0 \cdot \frac{I_1^2}{U_1^2} \quad (16)$$

На основе рассмотренных соотношений возможно построение измерителей первичных параметров рельсовой линии, позволяющих локализовать участки с отклонениями этих параметров от нормативных значений, а также адаптивных микропроцессорных средств железнодорожной автоматики как составных частей автоматической блокировки, отвечающих современным требованиям по надежности и метрологии.

Литература

1. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / . Аркатов В.С., Кравцов Ю.А., Степенский Б.М. - М.: Транспорт, 1990. - 295 с.
2. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К.Г.Марквардт.- М: Транспорт, 1982. - 528 с.
- 3 Волик В.Г., Тарасов Е.М. Определение первичных параметров рельсовой линии по величине сигнального тока // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск «Транспортно-технологические системы». 2005. С.169-173.
4. Волик В.Г., Гуменников В.Б. Определение сопротивления изоляции рельсовой линии по замене комплексных амплитуд тока и напряжения // Материалы II Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту». – 2010. – С. 70-73.

О.К. Головнин

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МУЛЬТИКОЛЛИНЕАРНЫХ АТТРИБУТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Усовершенствование транспортной инфраструктуры (ТрИ) невозможно без применения эффективных методов оценки проектов развития улично-дорожной сети (УДС). Необходимо иметь возможность на начальной стадии проектирования оперативно и достоверно оценить влияние изменений на УДС в целом [2,7]. Выбор рациональных вариантов развития ТрИ требует разработки и применения моделей транспортного потока (ТП), адаптированных к реальным условиям.

По функциональному назначению модели ТП, применяемые для анализа ТрИ, можно разделить на три класса [7]:

- прогнозные, предназначенные для оценки изменений в размещении объектов транспортного спроса;